

資料

剣道稽古中における呼吸代謝応答実測の試み

脇本敏裕^{*1} 宮川健^{*1}

要 約

剣道は面を着用していることや稽古および試合中に不規則的な動きをするため、生理学的な測定が難しく実測が行われた研究は少ない。剣道稽古中の呼吸波形や呼吸循環機能についての研究は散見されるが、剣道稽古中のエネルギー消費量、呼吸代謝応答の実測を行った研究は少ない。本研究では、剣道の試合形式の稽古を行った際の呼吸代謝応答を実測し生理応答を明らかにするとともに自転車エルゴメーター運動との差異を検討することを目的とした。対象はK大学剣道部に所属する剣道鍛錬者の男性5名、女性5名とした。自転車エルゴメーターを用いた最大酸素摂取量の測定、および試合を想定した剣道稽古中の心拍数、呼吸代謝応答を測定した。剣道稽古中の呼吸代謝応答は面金の下半分を切り取った面を用い、フェイスマスクを介して背中に背負ったダグラスバッグに呼気ガスを採取して行った。剣道稽古中の呼吸代謝応答を、剣道稽古中と同一心拍数における自転車駆動時の呼吸代謝応答と比較した。酸素摂取量は剣道稽古中： $26.1 \pm 5.6 \text{ ml/kg/分}$ 、自転車駆動中： $22.0 \pm 6.4 \text{ ml/kg/分}$ で有意な差が認められた ($p < 0.05$)。換気量は剣道稽古中： $32.0 \pm 10.3 \text{ L/分}$ 、自転車駆動中： $26.0 \pm 10.9 \text{ L/分}$ で有意な差が認められた ($p < 0.05$)。METsは剣道稽古中： $7.5 \pm 1.6 \text{ METs}$ 、自転車駆動中： $6.3 \pm 1.8 \text{ METs}$ で有意な差が認められた ($p < 0.05$)。剣道で打突時に発生を伴わなければ一本にはならない。この剣道特有の呼吸や発声が、同一心拍数での呼吸代謝応答の違いの原因ではないかと考えられる。

1. 緒言

剣道は面を着用していることや稽古および試合中に不規則的な動きをするため、生理学的な測定が難しく実測はほとんど行われていない。剣道稽古中の呼吸波形や呼吸循環機能についての研究は散見されるが、剣道稽古中のエネルギー消費量、呼吸代謝応答の実測を行った研究は少ない。

岡崎らは剣道稽古の前、終了後に血圧、心拍数の測定、採血を行い、稽古後に心拍数が増加したことや血小板の凝集亢進、血漿蛋白増加が生じたことを報告し、剣道では踏み込みに伴う機械的損傷が生じ、血液濃縮が認められない場合でも、全血流動性が大きく低下することを示唆している¹⁾。吉田らは剣道鍛錬者の仰臥位、座位、立位の安静時心電図を測定し、洞性徐脈出現率が他の種目と比較してやや低く、剣道は持久的要素の占める割合がそれほど高

くないことを報告している²⁾。また呼吸性不整脈出現率が他競技と比べて高く、対人競技(武道)である柔道、剣道をはじめ体操競技、水泳といった呼吸を重視し、調整しながら競技する種目の特性に近いのではないかと推測している。荒木の研究では鍛錬者と未鍛錬者の互角稽古時の酸素摂取量と自転車エルゴメーターで得られた最大酸素摂取量の比較が行われており、未鍛錬者では互角稽古はほとんど最大運動として行っていることが示されている³⁾。丹波らはかかり稽古時のエネルギー代謝について実測を行い、かかり稽古時には心拍数はほとんど最高に近い値を示しているが、心拍数と比較して酸素摂取量は少なく、酸素負債が関与しているのではないかと報告している⁴⁾。このように剣道時の生理応答を取り扱った研究では剣道稽古の前後や剣道稽古中の生理応答が検討されており、試合中や試合を想定した

^{*1} 川崎医療福祉大学 医療技術学部 健康体育学科
(連絡先) 脇本敏裕 〒701-0193 倉敷市松島288 川崎医療福祉大学
E-mail: wakimoto@m.kawasaki-m.ac.jp

稽古中の呼吸代謝応答は明らかにされていない。

そこで本研究では、剣道の試合形式の稽古を行った際の呼吸代謝応答を実測し生理応答を明らかにするとともに自転車エルゴメーター運動との差異を検討することを目的とした。

2. 方法

2.1 被験者

K大学剣道部に所属する剣道鍛錬者の成人男女10名（男性5名，女性5名）を被験者とした。本研究は、川崎医療福祉大学医療技術学部健康体育学科倫理委員会の承認を受け実施した（承認番号：HSS180018）。被験者には研究の趣旨，方法，得られる成果，研究参加の自発性などを説明し，書面による同意を得て実験を実施した。

2.2 測定手順

被験者は自転車エルゴメーターを用いて最大酸素摂取量を測定し，剣道稽古中の呼吸代謝応答を測定した。

2.2.1 最大酸素摂取量測定

自転車エルゴメーターに座った状態で5分間の安静測定を行った後に疲労困憊に至るまで自転車エルゴメーターを駆動し最大酸素摂取量を測定した。呼吸代謝応答の測定にはダグラスバッグ法を用いた。ガス濃度の分析には質量分析計（model WSMR-1400，ウェストロン社製）を用い，ガス量の分析には乾式ガスメーター（DC-5，シナガワ精器社製）を用いた。呼気ガスの採取は各運動負荷の1分30秒時点から2分時点までの30分間行った。心拍数の測定には心拍数測定用ベルト（Polar社製，H7 HEART RATE SENSOR）及びスマートフォンアプリのPolar Beatを用い，自転車駆動中連続して測定した。運動負荷は多段階漸増負荷（ステップ式）とし，男性は90Wからスタートし，2分毎に30W漸増した。女性は30Wからスタートし，2分毎に30W漸増した。ペダリング回転数は60回転/分とした。

2.2.2 剣道稽古中の呼吸代謝応答

剣道の防具をすべて装着し，フェイスマスクを装着した状態で椅子に座り5分間の安静測定を行った。その後試合を想定した稽古を3分間行い，その間の呼吸代謝応答，心拍数を測定した。呼吸代謝応答の測定にはダグラスバッグ法を用いた。測定機材は最大酸素摂取量と同様とした。被験者はフェイスマスクを装着した状態で面金の下半分を除去した面を装着し，防具等をすべて装着した状態でダグラスバッグを背負った状態で測定を行った（図1）。験者の「はじめ」の合図で呼気ガスの採取及び心拍数の測定を開始し，3分間連続して採気，測定を行った。被験



図1 剣道稽古中の呼吸代謝応答測定の様子

者は試合を想定した形式の稽古を3分間継続して実施した。

2.3 データ処理

結果は平均値±標準偏差で示した。最大酸素摂取量測定中に得られた呼吸代謝データから剣道稽古中の心拍数に相当する酸素摂取量，二酸化炭素排出量，換気量，呼吸交換比， $\% \dot{V}O_{2max}$ ，METsを算出し，自転車駆動時のデータとして剣道稽古中の各指標と比較した。平均値の比較には対応のあるt検定を使用した。統計処理はSPSS Statistics 24（日本IBM社製）を用いて行った。結果はすべて平均値±標準偏差で示した。統計的な有意水準は，危険率5%未満（ $p<0.05$ ）とした。

3. 結果

対象者の最大酸素摂取量は $34.5 \pm 8.1 \text{ ml/kg/分}$ であった。図2に剣道中の呼吸代謝応答，および剣道中の心拍数に相当する自転車駆動中の呼吸代謝応答を示した。酸素摂取量は剣道稽古中： $26.1 \pm 5.6 \text{ ml/kg/分}$ ，自転車駆動中： $22.0 \pm 6.4 \text{ ml/kg/分}$ で有意な差が認められた（ $p<0.05$ ）。二酸化炭素排出量は剣道稽古中： $1.69 \pm 0.59 \text{ L/分}$ ，自転車駆動中： $1.42 \pm 0.53 \text{ L/分}$ で差は認められなかった。換気量は剣道稽古中： $32.0 \pm 10.3 \text{ L/分}$ ，自転車駆動中： $26.0 \pm 10.9 \text{ L/分}$ で有意な差が認められた（ $p<0.05$ ）。呼吸交換比は，剣道稽古中： $0.86 \pm 0.08 \text{ L/分}$ ，自転車駆動中： $0.93 \pm 0.14 \text{ L/分}$ で差は認められなかった。METsは剣道稽古中： $7.5 \pm 1.6 \text{ METs}$ ，自転車駆動中： $6.3 \pm 1.8 \text{ METs}$ で有意な差が認められた（ $p<0.05$ ）。

4. 考察

本研究では，剣道鍛錬者の男女10名を対象として，剣道稽古中の呼吸代謝応答を実測した。剣道稽古中と同一心拍数における自転車駆動中の呼吸代謝指標を比較したところ，酸素摂取量，換気量，METs

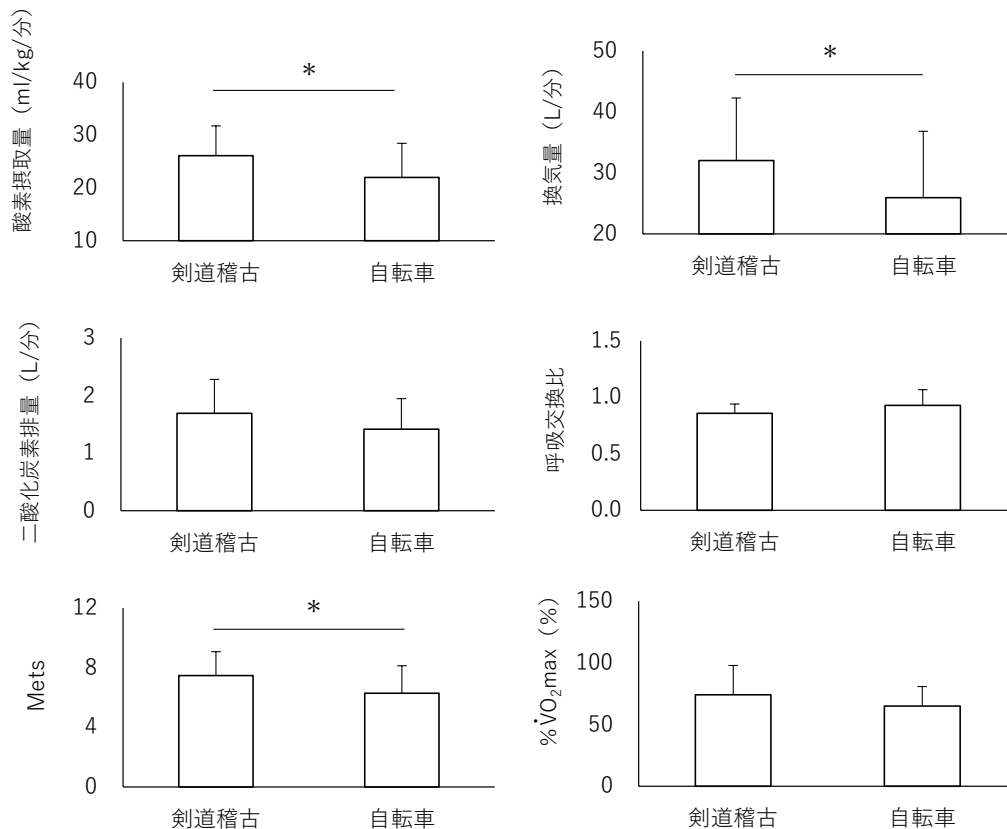


図2 剣道稽古中および自転車駆動中の呼吸代謝指標

* : $p < 0.05$

に差が認められ、剣道稽古中に各指標が高値を示すことが明らかとなった。

對馬らの研究では、同一心拍数における下肢自転車エルゴメーターとトレッドミル運動時の生理応答を比較し、酸素摂取量は自転車エルゴメーターとトレッドミル運動で有意な差は、認められなかったことを報告しており⁵⁾、同一心拍数における各呼吸代謝指標の値は運動様式が異なる場合でも同一であると考えられる。一方でアームエルゴメーター運動と自転車エルゴメーター運動について60%HRmaxにおける呼吸代謝応答を比較した研究⁶⁾では、酸素摂取量および換気量が自転車エルゴメーター運動において有意に高値であったことを報告している。剣道は上下肢を使った全身運動であり、對馬らの研究を元に考えると、同一心拍数における呼吸代謝応答は自転車エルゴメーター運動と同一になると考えられるが、本研究の結果では剣道中の酸素摂取量、換気量が有意に高値を示した。この背景に剣道における独特の呼吸や発声の影響していると考えられる。剣道は「気・剣・体」の一致が一本の条件である。「気」は充実した氣勢を示しており、発声のない打突はたとえ部位に当たっていたとしても一本にはならな

い⁷⁾。剣道の指導では、打突前に息を吸うと動作に遅れが出たり、相手に打つことが認知されるため、打突前には呼吸をためて攻めるように指導されている。この剣道特有の呼吸や発声が、同一心拍数での呼吸代謝応答の違いに影響したものと考えられる。

丹波らはかかり稽古時のエネルギー代謝について実測を行い、かかり稽古時には心拍数はほとんど最高に近い値を示しているが、心拍数と比較して酸素摂取量は少なく、酸素負債が関与しているのではないかと報告している⁴⁾。軽強度の運動であれば、酸素摂取量は数分で定常状態に至り、運動強度が高くなるほど、運動開始後の酸素摂取量の増加率は速くなるが、定常状態に至るまでの時間は長くなる⁸⁾。かかり稽古は約30秒程度の間に連続して技を出していく激運動であり、丹波らの研究では運動時間が短い中で酸素摂取量が上がりきる前に心拍数が上がったものと考えられる。しかしながら、本研究で行った試合を想定した稽古は3分間の測定時間があり、心肺機能が定常状態に至った状態で測定が行われたものと考えられ、先行研究と異なる結果を生じた。ただし、実際の剣道競技における試合時間は5分間である。本研究ではダグラスバッグを使用して稽古

中の呼吸代謝応答を測定したため、ダグラスバッグへの呼気採取量の限界から測定時間を3分間に設定した。測定時間が実際の試合よりも短いことは本研究の測定方法による限界であり、データの解釈に注意が必要である。

また、本研究の運動強度は 7.5 ± 1.6 METsであった。三上と大成⁹⁾の研究によると、剣道の運動強度は4.3-7.8 METsであり、8 METsを超えるものはなかったと報告されており本研究の結果と一致する。一方、健康づくりのための身体活動基準2006では、

3.0 METs未満の運動あるいは生活活動を「低強度」、3.0-5.9 METsを「中強度」、6.0 METs以上を「高強度」として区分している¹⁰⁾。したがって、剣道は健康づくりのための運動としては高強度以上の運動である。愛好者には中年者、高齢者も多いと考えられる。特に疾病を有している者においては、健康づくりのための運動として6 METsを超えるような運動強度は用いるべきではないと指摘されており¹⁰⁾、無理のない範囲で行うとともに、十分な安全管理が必要かもしれない。

謝 辞

本研究を遂行するにあたり、川崎医療福祉大学健康体育学科脇本ゼミ卒業生の西萌花氏をはじめ、川崎医療福祉大学脇本ゼミの諸氏に協力を頂きました。ここに記して感謝の意を表します。

文 献

- 1) 岡崎和伸, 浅野勝己, 菊池佑二, 香田群秀, 佐藤成明: 剣道における稽古運動の全血流動性に及ぼす影響. 日本体育学会大会第49回大会号, 281, 1998.
- 2) 吉田泰将, 香田郡秀, 坪井三郎: 剣道連取中の心機能の特徴について一特に洞性徐脈, 呼吸性不整脈の発現を中心に. 武道学研究, 21(2), 137-138, 1988.
- 3) 荒木武: 剣道の動作時における呼吸循環系応答(Ⅱ)―互格稽古を中心として―. 武道学研究, 16(1), 28-29, 1984.
- 4) 丹波昇, 井上正孝, 橋本明雄, 猪飼道夫: 剣道のかかり稽古時の呼吸循環機能の変動. 体育学研究, 15(2), 81-85, 1971.
- 5) 對馬明, 矢澤浩成, 戸田香, 高石鉄雄: 同一心拍数における下肢自転車エルゴメーターとトレッドミル運動時の生理的反応の比較. 体力科学, 57(3), 404, 2008.
- 6) 中原和美: 異なる運動負荷様式による生理学的変化の差異. 第26回九州理学療法士・作業療法士合同学会誌, 38, 2004.
- 7) 全日本剣道連盟: 剣道の試合・審判のルール.
https://old2.kendo.or.jp/kendo/competitions_refrees/#competitions2-2, [1998]. (2020.3.6確認)
- 8) 春日規克: 運動生理学の基礎と発展. 改訂版, 星雲社, 東京, 2006.
- 9) 三上誠二, 大成浄志: 高校生における剣道の運動強度に関する研究. 日本体育学会第36回大会号, 295, 1985.
- 10) 厚生労働省: 健康づくりのための運動指針2006.
<https://www.mhlw.go.jp/shingi/2006/07/dl/s0719-3c.pdf>, [2006]. (2020.3.6確認)

(令和2年7月15日受理)

The Cardiopulmonary Responses Measurement during Kendo Training

Toshihiro WAKIMOTO and Takeshi MIYAKAWA

(Accepted Jul. 15, 2020)

Key words : Kendo, cardiorespiratory measurement

Abstract

To clarify the physiological responses of Kendo training, we compared the cardiorespiratory responses between Kendo training and bicycle ergometer exercise. Ten Kendo trained collegiate students participated in this study. The subjects performed $\dot{V}O_2$ max measurement and cardiorespiratory measurement during Kendo training. During Kendo training, subjects wore a special Kendo helmet that enabled them to wear a facemask and respiratory gas sampling tube and subjects wore the Douglas bag on their back. The cardiorespiratory responses to Kendo training was compared with the cardiorespiratory responses to bicycle ergometer exercise at the same heart rate. The oxygen uptake (Kendo: 26.1 ± 5.6 ml/kg/min, bicycle: 22.0 ± 6.4 ml/kg/min: $p < 0.05$), ventilation (Kendo: 32.0 ± 10.3 L/min, bicycle: 26.0 ± 10.9 L/min: $p < 0.05$) and METs (Kendo: 7.5 ± 1.6 METs, bicycle: 6.3 ± 1.8 METs: $p < 0.05$) during Kendo training were significantly higher compared with bicycle ergometer exercise. In Kendo matches, Kendo players have to shout when they are hitting. It is thought that the characteristics of Kendo breathing and shouting caused the different cardiorespiratory responses of Kendo training compared to bicycle ergometer exercise.

Correspondence to : Toshihiro WAKIMOTO

Department of Health and Sports Science

Faculty of Health Science and Technology

Kawasaki University of Medical Welfare

Kurashiki, 701-0193, Japan

E-mail : wakimoto@med.kawasaki-m.ac.jp

(Kawasaki Medical Welfare Journal Vol.30, No.1, 2020 201 – 205)